

AESA 레이더의 동시운용모드를 위한 빔 스케줄링 기법

Beam Scheduling Algorithm for Interleaved Mode of AESA Radar

노 지 은 · 원 진 주 · 윤 지 환

Ji-Eun Roh · Jin-Ju Won · Ji-Hwan Yoon

요 약

최신의 항공기 탑재 능동위상배열레이더(AESA radar, active electronically scanned array radar)에서는 공대공과 공대지 또는 공대공과 공대해 모드를 시분할하여 운용하는 동시운용모드를 제공한다. 본 논문에서는 동시운용모드 적용을 위해 모드별 할당된 부하를 효과적으로 제어할 수 있는 빔 스케줄링 기법에 관한 것으로, 제안된 알고리즘은 AESA 레이더의 모드별 추적 특징을 고려하되, 부하비율, 스캔 비율, 스캔 회수, 스캔 시간 옵션에 따라 모드별 할당된 자원량을 지속적으로 만족하는 동시에, 프레임, bar, 또는 빔 단위로 모드별 탐색 전환 옵션을 제공한다. 또한 부하를 계산하기 위한 모드별 처리율 계산 및 탐색 모드 변경 여부 결정 로직 등을 구성하여 간단한 계산을 통해 부하를 제어할 수 있도록 설계하였다.

Abstract

The modern active electronically scanned array (AESA) airborne radar features an interleaved mode, whereby situational awareness can be maximized via incorporation of the radar's electronic beam pointing capability. This interleaved mode can enable simultaneous operation of two or more modes, such as the air-to-air and sea surface-search modes, via the technique of time-sharing. One of the key requirements for successful realization of the interleaved mode is a beam scheduler design that facilitates effective control of the allocated resources for each mode. Thus, in this paper, we propose an effective beam scheduler that can control the allocated resources for each mode through the mode-switching option based on the radar's frames, bars, and beams. Furthermore, the proposed beam scheduler involves the mode-switching decision logic and calculates the processing ratio for each mode.

Key words: AESA Radar, Interleaved Mode, Resource Allocation, Beam Scheduling

I. 서 론

능동위상배열레이더(AESA radar, active electronically scanned array radar)는 전자적으로 빔을 조향함으로써 빔 조향 시간이 비약적으로 빨라, 기존의 기계식 빔 조향 레이더에 비해 레이더에서 수행할 수 있는 다중 임무 처리 능력이 향상되었다. 특히, 최신의 항공기 탑재 AESA 레

이다에서는 AESA레이더의 빔 조향 능력과 효율적인 레이더 자원관리를 통해 상황인식 능력을 극대화할 수 있는 동시운용(Interleaved) 모드가 운용된다. 동시운용 모드는 공대공과 공대지 또는 공대공과 공대해 모드를 시분할하여 운용함으로써 사용자에게 두 모드를 동시에 제공하는 모드이다. 동시 운용모드 적용 시 가장 중요한 설계 요소는 모드별 부하 할당 기법과 부하를 제어할 수 있는

국방과학연구소(Agency for Defense Development)

· Manuscript received December 30, 2020 ; Revised January 29, 2021 ; Accepted March 8, 2021. (ID No. 20201230-111)

· Corresponding Author: Ji-Eun Roh (e-mail: jeroh@add.re.kr)

빔 스케줄링 설계라고 할 수 있다. 동시 운용 모드 운용시 한정된 레이더 자원을 두 모드에 나누어 할당함으로써 단일 모드 운용대비 성능 저하가 필연적이므로, 단일 모드 대비 동시 운용모드에서 각 모드별 성능 저하를 최소화할 수 있는 부하 할당 기법이 필요하다. 본 논문에서는 모드별 성능 저하를 최소화하는 부하 할당에 대해서는 다루지 않으며, 모드별 할당된 부하를 입력으로 받아 AESA 레이더의 모드별 특징을 고려하되, 모드별로 할당된 자원량을 지속적으로 만족할 수 있도록 탐색빔을 계획적으로 운용하는 빔 스케줄링 알고리즘에 대해 제안한다.

II. AESA 레이더의 빔 스케줄링 기존 연구

기존의 레이더 빔 스케줄링은 비적응형과 적응형의 크게 두 가지 형태로 구분할 수 있는데, 문헌에서 주로 언급되고 있는 비적응형 기법으로는 Butler형^[1]과 Orman형^[2]이 있으며, 레이더 빔 스케줄링을 위해 다양한 규칙을 비교 분석한 논문^[3]이 소개되었다. 이런 기법들은 모두 빔의 고정된 우선 순위가 정해져 있으며, 스케줄링은 시간축(time-line)을 따라 진행하면서 순차적인 처리과정을 통해 결정하도록 되어 있다. 과부하 상태에서의 보다 효율적인 빔 스케줄링을 위한 적응형 기법으로는 소프트 컴퓨팅(ANN, Fuzzy)이나 전문가 시스템을 사용한 인공지능 기반 알고리즘^{[4],[5]} 은닉 마르코프 모델(HMM)이나 마르코프 결정 모델(MDP)구조 하에서 동적 프로그래밍을 통해 문제를 해결하는 방법^[6], QoS(quality of service)를 목적함수로 두는 Q-RAM 알고리즘^{[7]~[9]}, 레이더 부하 상태에 따라 빔 스케줄링 알고리즘을 선택적으로 적용할 수 있는 방법^[10]이 제안되었다. 이들 모든 연구는 단일 모드에서의 빔 스케줄링에 관한 연구로 동시운용모드에 적용하기 위해서는 모드별 성능 저하를 최소화하기 위해 할당된 부하를 만족시킬 수 있도록 하는 빔 스케줄러의 운용이 필요하며, 본 논문에서는 이를 위해 탐색빔을 계획적으로 운용하는 빔 스케줄링 알고리즘에 대해 제안한다.

III. AESA 레이더의 동시운용모드 빔 스케줄링 알고리즘

본 논문에서 제안하는 빔 스케줄러의 구성 설명에 앞

서, 몇가지 가정에 대해 설명한다. 먼저 본 논문에선 탐색빔 이외에, 추적과 관련된 긴급빔을 처리하기 위한 빔 스케줄링 규칙 및 이를 동작하기 위한 각종 입력조건 및 변수들(빔간 우선순위, 빔 요청시간 등)은 다루지 않으며, 이는 참고문헌 [3]과 같은 일반적인 레이더 빔 스케줄러를 적용해도 무방하다. 동시운용모드의 모드 구성에 대해, 항공기 탑재 레이더의 운용 목적에 따라 다양한 모드의 조합이 구성될 수 있으나, 본 논문에서는 공대공 모드(AAST, all aspect search and track)와 공대해 모드(SSS, sea surface search)모드를 동시에 운용하는 것을 가정하여 알고리즘을 설명하고자 한다. 모드별 표적 추적 방식에 대해, 일반적으로 레이더는 표적 탐지 후 추적시, 추적하는 방식을 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째는, 추적 표적에 대해 별도의 추적빔을 할당하는 방식(AT, active tracking)으로, AT 적용시 통상 확인빔, 추적개시를 위한 빔, 주기적인 추적을 위한 추적빔들이 처리되어야 하며, 보통 이런 빔들은 탐색빔보다 높은 우선순위를 갖는 긴급빔으로 분류된다. 두 번째는, 탐색빔을 이용한 추적방식(TWS, track while scan)을 통해 별도의 추적빔 없이 탐색빔의 결과만을 이용해 다수 표적을 추적하는 방식이다. 레이더 설계 시 모드별로 두 가지 방식 중에 목적에 맞게 추적 방식을 선택하게 되는데, 본 논문에서는 모드별로 두 가지 방식 중 어떤 것을 선택하더라도 동작할 수 있도록 빔 스케줄러를 구성하였다.

그림 1은 본 논문에서 자주 사용되는 용어의 설명 및 일반적인 탐색 영역 운용에 관한 설명을 위한 것으로 방

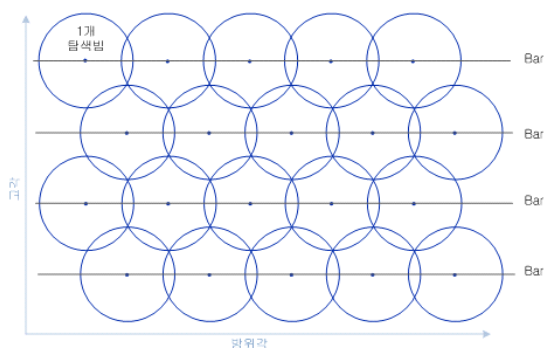


그림 1. 탐색 영역에 대한 빔 구성예

Fig. 1. The example of beam grid of search area.

위각, 고각으로 탐색영역이 표현될 때, 탐색빔이 어떻게 구성될 수 있는지를 보여주는 예이다. 보통의 탐색빔은 탐색해야 할 방위각, 고각 영역에 대해 빔(beam 또는 dwell)을 통칭)을 일정부분 겹쳐서 방사되며, 탐색빔 1개가 방사되는 시간을 통상 드웰타임(dwell time)이라고 부른다. 또한, 바(bar)는 동일한 고각에서 서로 다른 방위각을 탐색하는 탐색빔의 그룹을, 프레임(frame)은 탐색 영역 전체를, 프레임 타임(frame time)은 탐색 영역 전체를 탐색 완료하는 데 걸리는 시간을 의미한다. 그림 1은 탐색영역이 4개의 bar, 20개의 탐색빔으로 구성되는 예이다.

그림 2는 동시운용모드의 빔 스케줄링 알고리즘을 보여주는 것으로, 모드별로 할당된 부하 또는 부하와 유사한 제어값 등과 스케줄러 동작 옵션 등을 입력으로 받아 주요 판단 로직을 이용해 빔을 스케줄링하게 된다.

먼저 빔 스케줄링을 위한 입력 구성 및 알고리즘은 다음과 같다.

3.1 동시운용모드의 모드 구성

입력 변수 Modes는 동시운용모드를 구성하는 모드의 배열을 의미하며, AAST와 SSS 모드를 동시운용할 경우, Modes=[AAST, SSS]로 정의할 수 있다. 편의상 두 개의 모드를 구성하여 설명하지만, 2개 이상의 모드를 구성하여도 알고리즘이 동작하도록 설계하였다.

3.2 모드별 추적방식 및 탐색영역정보

ModeInfo는 동시운용모드를 구성하는 하나의 모드에 대한 추적 방식 및 탐색 영역 정보값을 갖는 구조체로, [Tracking_Option, T_{frame}, T_{bar}, T_{dwell}, N_{bar}, N_{dwell}]로 구성된다.

- Tracking_Option ∈ {AT, TWS}: 추적 방식에 따라 AT와 TWS 선택
- T_{frame}: 전체 영역 탐색 소요 시간(프레임타임)
- T_{bar}: 1bar를 탐색하는데 소요되는 시간
- T_{dwell}: 탐색빔 1개에 대한 소요 시간
- N_{bar}: 탐색영역의 고각 bar개수
- N_{dwell}: 전체 탐색영역에 포함된 빔 개수

알고리즘 설명의 편의를 위해 AAST와 SSS모드는 다

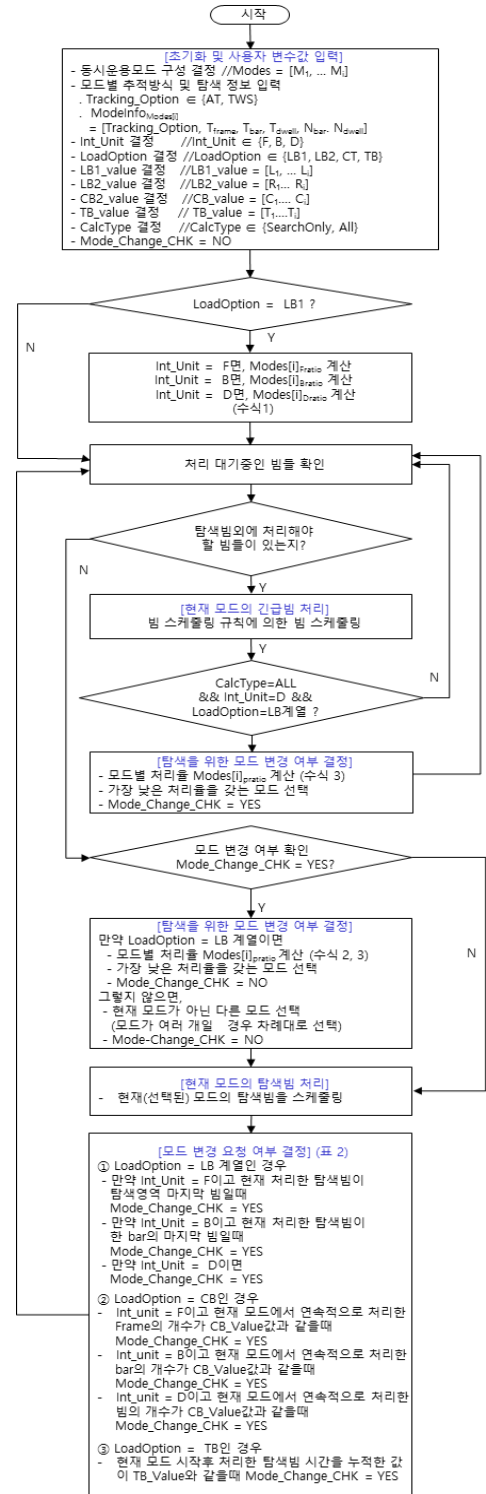


그림 2. 동시운용모드 빔 스케줄링 알고리즘

Fig. 2. The beam scheduling algorithm of interleaved mode.

음과 같이 구성된다고 가정하였으며, 이후의 모든 알고리즘 설명에서 AAST와 SSS 두 모드가 동시 운용됨을 가정하였다.

- Modes= [AAST, SSS]
- ModeInfo_{AAST}= [AT, 10 sec, 2.5 sec, 100 msec, 4, 100]
- ModeInfo_{SSS}= [TWS, 1 sec, 1 sec, 10 msec, 1, 100]

이는, AAST 모드에서는 AT로 표적을 추적하고, 주어진 탐색영역은 고각방향으로 4 bar, 1 bar당 25개 탐색빔을 운용하도록 구성되어 있다는 의미이다. 따라서 탐색영역 전체를 탐색하기 위해서는 100개의 탐색빔이 필요하며, 이때의 프레임타임은 10초가 소요된다. SSS 모드는 TWS로 표적을 추적하며, 탐색영역은 고각방향 1 bar, 한 빔당 10 msec을 소요하는 100개 빔으로 구성되어 전체 탐색영역을 탐색하는 데 1초가 소요됨을 의미한다.

3-3 최소 인터리빙 단위

Int_Unit은 모드별로 교차로 운용될 때 모드간 전환되는 최소 단위를 정의하는 것으로, 빔단위/Bar단위/Frame단위로 설정할 수 있다.

- Int_Unit \in {B, D, F}
- B: 빔 단위 교차 운용
- D: Bar 단위 교차 운용
- F: Frame 단위(탐색영역 단위 교차 운용)

Int_Unit= B로 지정되면, 지금 수행 중인 모드의 1개 bar의 탐색을 종료하기 전에는 다른 모드의 탐색을 시작하지 않는다는 의미이다. Int_Unit= F는 한 모드의 탐색영역 전체(frame)에 대한 탐색을 종료하기 전에는 다른 모드의 탐색을 시작하지 않는다는 의미이다. Int_Unit= D이면 빔 1개 단위로 모드를 변경할 수 있음을 의미한다.

3-4 부하 제어 옵션

동시운용모드 운용 시 모드별 부하 할당 방식을 정의하는 LoadOption은 4가지 옵션을 제공하며, 이중 하나를

사용자가 선택할 수 있다.

- LoadOption \in {LB1, LB2, CB, TB}

3-4-1 LB(Load-Based) 계열 옵션

LB1은 모드별 성능저하 부하값을 적용할 수 있는 옵션으로, 사용자가 또는 프로그램 내부적으로 획득한 각 모드별 부하 할당을 백분율로 지정하고자 할 경우에 선택된다. 이 때 각 모드에 할당할 부하 백분율은 LB1_value 배열에 저장된다. 모드별 부하가 결정되면 3-3의 Int_Unit에 따라, 모드간 Frame 처리 개수 비율($Modes[i]_{Fratio}$), bar 처리 개수 비율($Modes[i]_{Bratio}$), 빔 처리 개수 비율($Modes[i]_{Dratio}$)이 식 (1)로 계산된다.

$$\begin{aligned}
 L_{value} &= \text{ModeInfo}_{Modes[0]} \cdot T_{frame}, \dots, \text{ModeInfo}_{Modes[n]} \cdot T_{frame} \text{의} \\
 &\quad \text{최소공배수} \\
 Modes[i]_{Fratio} &= \frac{L_{value}}{\text{ModeInfo}_{Modes[i]} \cdot T_{frame}} \times LB1_value[i] \\
 Modes[i]_{Bratio} &= Modes[i]_{Fratio} \times \text{ModeInfo}_{Modes[i]} \cdot N_{bar} \\
 Modes[i]_{Dratio} &= Modes[i]_{Fratio} \times \text{ModeInfo}_{Modes[i]} \cdot N_{dwell} \quad (1)
 \end{aligned}$$

만약 AAST와 SSS로 동시운용 모드 운용 시 모드별 부하 할당을 70 %:30 %로 할당했을 경우, Int_Unit값에 따라 AAST와 SSS 모드간 Frame 처리 개수 비율, bar 처리 개수 비율, 빔 처리 개수 비율은 식 (1)에 의해 다음과 같이 계산된다.

- LoadOption= LB1
- LB1_value= [70, 30]인 경우,
- AAST_{Fratio}:SSS_{Fratio}=7:30
- AAST_{Bratio}:SSS_{Bratio}=14:15
- AAST_{Dratio}:SSS_{Dratio}=7:30

LB2는 각 모드별 부하를 백분율로 입력하지 않고, 모드별 탐색 스캔 비율을 회수로 직접 입력하고자 할 경우에 선택되며, 이때 처리 회수는 LB2_value 배열에 저장된다.

만약, AAST와 SSS에 대해 LoadOption=LB2, LB2_value=[1,10], Int_Unit=F와 같이 설정할 경우, AAST 전체 탐색영역 1회 수행 시, SSS는 전체 탐색영역 10회 수행 비율을 유지하는 것을 의미한다. 이는 부하로 계산해보면, 50 % : 50 %의 부하할당과 동일하므로, Int_Unit=F, LoadOption=

LB1, LB2_value=[50,50]과 동일한 입력이 된다. LB1과 LB2의 옵션을 나눈 이유는 사용자가 또는 프로그램 내부적으로 백분율로 부하를 할당하는 것이 용이할 수도 있고, 탐색비율을 직접 할당하는 것이 용이할 수도 있기 때문이다. LB1과 LB2는 공통적으로 LB1_value, LB2_value에 따라 모드별 처리하는 비율을 의미하는 것이지, 모드별 처리 순서와 연속적으로 처리하는 회수를 고정하는 의미는 아니다. LB계열에서 모드 순서 결정 알고리즘은 3-7 모드변경조건에서 설명한다.

3-4-2 CB(Count-Based) 옵션

LB계열은 모드별 처리 비율을 지정하는 옵션인 반면, CB 옵션은 모드별 처리 회수를 지정한 대로 연속적으로 처리함을 의미한다. 예를 들어 AAST와 SSS모드에 대해 LoadOption= CB, Int_Unit= F, CB_value= [7,30]이면 AAST의 탐색 영역 전체를 연속 7회 탐색한 후, SSS 탐색 영역 전체를 연속 30회 탐색하고, 이를 반복함을 의미한다.

3-4-3 TB(Time-Based) 옵션

TB는 모드별 처리 시간을 지정한 대로 연속적으로 처리할 수 있는 옵션이다. TB 옵션을 지정하면 Int_Unit에 지정된 값은 의미가 없으며, 지정한 시간대로 탐색빔을 순차적으로 처리한 후 모드를 변경하게 된다. 예를 들어 AAST와 SSS모드에 대해 TB_value= [2.5 sec,1 sec]이면 AAST의 1 bar 탐색, SSS의 전체탐색영역 탐색이 교차로 운용됨을 의미한다.

3-5 부하 계산 옵션

동시운용모드 수행 시 표적이 탐지된 후 추적 방식에 따라, AT 적용할 경우, 빔 스케줄러에 스케줄링을 요청되는 빔은 탐색빔뿐만 아니라, 확인빔, 추적개시를 위한 추적개시빔, 추적을 유지하기 위한 주기적인 추적빔들이 존재한다. 부하 계산 시 탐색빔 외에 이런 빔들을 부하 계산에 포함시킬지의 여부를 선택할 수 있도록 부하 계산 옵션(CalcType)을 제공하며, 추적 방식 및 부하 제어 옵션에 따라 표 1과 같이 동작한다.

동시운용모드를 구성하는 모든 모드가 TWS로 표적을

표 1. CalcType에 따른 빔 스케줄링 동작 개념
Table 1. The concept of scheduler w.r.t CalcType.

추적 방식	Calc type	Loadoption			
		LB1	LB2	CB	TB
TWS	Search only	탐색빔 이용 부하비율 계산	탐색빔 이용 스캔비율 계산	탐색빔 이용 스캔횟수 계산	탐색빔 이용 시간 계산
	Search only	상동	상동	상동	상동
AT	All	긴급빔을 포함하여 부하비율 계산	Invalid	Invalid	Invalid

추적하는 경우는 탐색빔만 존재하기 때문에 CalcType= SearchOnly이며, LoadOption에 따라 부하비율, 스캔비율, 스캔회수, 스캔시간 계산 시 탐색빔만을 대상으로 계산하게 된다. AT 추적 시, CalcType= SearchOnly로 설정되면 TWS 경우와 동일하다. 반면, CalcType=ALL이고 LoadOption= LB1인 경우, 모드별 처리 부하를 계산할 때 모든 빔을 포함하여 처리율을 계산하고, 모드별 부하를 유지하도록 한다. LoadOption= LB1을 제외한 나머지 부하 제어 옵션에서는 CalcType= ALL의 옵션 적용은 불가하다. 그 이유는 Frame단위, Bar단위, 또는 빔 단위로 탐색 스캔 비율 또는 회수를 유지하기 위한 목적으로, 추적빔을 계산에 포함하는 것은 적절치 않기 때문이다. CalcType= ALL이고 LoadOption= TB인 경우도 허용하지 않는 이유는 탐색빔 외의 긴급빔들은 임의의 시점에 발생할 수 있고, 정해진 시간에 처리될 수 있어야 하므로, LoadOption= TB의 목적에 맞지 않기 때문이다.

빔 스케줄러의 동작을 위해 3-1~3-5에서 설명한 입력 값을 설정한 후 다음과 같은 주요 로직을 이용해 빔 스케줄러는 탐색할 모드를 선택하게 된다.

3-6 모드 변경 요청 여부 결정

스케줄러에서 선택할 첫 모드는 프로그램 내에서 디폴트로 지정되도록 하며, 현재 모드에서 탐색을 위한 모드 변경 여부 요청 여부 결정은 탐색빔 또는 긴급빔 처리후

표 2. 모드 변경 조건

Table 2. The condition of mode change.

	Int_Unit=F	Int_Unit=B	Int_Unit=D
LB 계열	현재 처리한 빔이 탐색 영역 마지막 탐색빔이면 모드 변경 여부 확인 수행	현재 처리한 빔이 한 bar의 마지막 탐색빔이면 모드 변경 여부 확인 수행	매 탐색빔 처리후 모드 변경 여부 확인 수행
CB	현재 모드 변경시점에서 전체영역 탐색 회수를 세어 해당 모드의 CB_value값에 도달하면 모드 변경	현재 모드 변경시점에서 처리한 bar 개수를 세어 해당 모드의 CB_value값에 도달하면 모드 변경	현재 모드 변경시점에서 처리한 탐색빔 개수를 세어 해당 모드의 CB_value값에 도달하면 모드 변경
TB	현재 모드 변경시점에서부터 탐색빔의 수행시간을 합 하여 현재 모드의 TB_value값에 도달하면 모드 변경		

(CalcType= ALL인 경우만) 매번 확인된다. 표 2의 조건이 만족하면 Mode_Change_CHK=YES로 설정되어, 다음 탐색빔 스케줄링시 탐색모드 변경 여부를 결정하게 된다.

3-7 탐색을 위한 모드 변경 여부 결정

Mode_Change_CHK=YES로 설정되어 있으면, 탐색을 위한 모드 변경 여부를 결정하게 된다.

$$\begin{aligned}
 Modes[i]_{pratio} &= \frac{\text{해당모드에서 처리한 Frame 누적 개수}}{Modes[i]_{Fratio}} \\
 Modes[i]_{pratio} &= \frac{\text{해당모드에서 처리한 바 누적 개수}}{Modes[i]_{Bratio}} \\
 Modes[i]_{pratio} &= \frac{\text{해당모드에서 처리한 탐색빔 누적 개수}}{Modes[i]_{Dratio}} \quad (2) \\
 Modes[i]_{pratio} &= \frac{\text{해당모드에서 처리한 모든 빔의 누적 개수}}{Modes[i]_{Fratio} \times ModInfo_{Modes[i] \cdot N_{dwell}}} \\
 Modes[i]_{pratio} &= \frac{\text{해당모드에서 처리한 모든 빔의 누적 개수}}{Modes[i]_{Bratio} \times \frac{ModInfo_{Modes[i] \cdot N_{dwell}}}{ModInfo_{Modes[i] \cdot N_{bar}}}} \\
 Modes[i]_{pratio} &= \frac{\text{해당모드에서 처리한 모든 빔의 누적 개수}}{Modes[i]_{Dratio}} \quad (3)
 \end{aligned}$$

LoadOption이 LB계열이 아니면 현재 모드가 아닌 다른 모드를 선택하게 되며, 모드가 여러 개일 경우, 순서대로

모드가 변경된다. LoadOption이 LB계열이면 현재까지의 모드별 처리 상태인 처리율($Modes[i]_{pratio}$) 계산 후 비교해서 처리율이 가장 낮은 모드를 다음에 탐색하게 될 모드로 선택하게 된다. 식 (2)는 LoadOption이 LB계열인 경우, CalcType= SearchOnly일 때 탐색 모드 변경의 결정을 위한 모드별 처리율을 계산하는 식이고, 식 (3)은 CalcType= All이고, LoadOption= LB1인 경우, 모드별 처리율을 계산하는 식이다.

요약하면, 빔 스케줄러 동작을 위해 옵션을 선택한 후, 처리대기 중인 빔들을 확인하여, 탐색빔 외에 긴급하게 처리되어야 할 추적 관련 빔이 있으면 현재 탐색 모드와 상관없이 빔 스케줄링 규칙에 의해 긴급빔 중 처리할 빔을 선택하게 된다.

만약 지금 처리해야 할 긴급빔이 없다면 탐색빔을 스케줄링하게 된다. 이때 어떤 모드의 탐색빔을 스케줄링할지 결정하기 위해 Mode_Change_CHK값을 검사하여 ‘Yes’로 설정되어 있으면 LB계열인 경우, 처리율을 계산하여 가장 낮은 처리율을 갖는 모드를 선택, 그렇지 않은 경우, 현재 모드가 아닌 다른 모드를 선택하여, 선택된 모드의 탐색빔을 스케줄링한다.

LoadOption=TB인 경우, 현재 모드 변경시점에서부터 탐색빔의 수행시간을 합하여 현재 모드의 TB_value값에 도달하면 모드를 변경하여 탐색빔을 스케줄링한다. LoadOption=CB인 경우도 Int_Unit에 따라 처리한 빔의 개수가 CB_value값에 도달하면 모드를 변경하여 탐색빔을 스케줄링한다. 공통적으로 한 개의 빔 스케줄링 후, 모드 변경 요청 여부를 결정하기 위해 Mode_Change_CHK를 업데이트하게 된다.

IV. 동시운용모드 빔 스케줄링 결과

본 논문에서 제안한 바와 같이 동시운용모드 빔 스케줄링 알고리즘을 구현한 후, AAST와 SSS모드의 동시 운용시, 조건 1에서의 처리율 계산결과 및 처리모드 선택과정 등을 포함한 빔 스케줄링 결과는 표 3과 같다. 이 때 설명의 편의를 위해 표적이 하나도 탐지되지 않아, 추적빔과 같은 긴급빔은 발생하지 않은 것으로 가정하였다.

(입력 조건 1)

표 3. 탐색빔 스케줄링 결과 (A: AAST, S: SSS)

Table. 3. Scheduling results of search beam.

현재 탐색 모드		A	S	S	S	S	S	A	S	S	S	S	A	S	S
스케줄링 결과 (빔처리개 수)	AAST탐색빔	100	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	100	0	0
	SSS 탐색빔	0	100	100	100	100	100	0	100	100	100	100	0	100	100
처리율	AAST _{pratio}	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7	2/7	2/7	2/7	2/7	2/7	3/7	3/7	...
	SSS _{pratio}	0	1/30	2/30	3/30	4/30	5/30	5/30	6/30	7/30	8/30	9/30	9/30	10/30	...
다음 탐색 모드		S	S	S	S	S	A	S	S	S	S	A	S	S	...

Modes= [AAST, SSS]

ModelInfo_{AAST}= [AT, 10 sec, 2.5 sec, 100 msec, 4, 100]

ModelInfo_{SSS}= [TWS, 1 sec, 1 sec, 10 msec, 1, 100]

LoadOption= LB1

LB1_value= [70, 30]

Int_Unit= F

CalcType= SearchOnly

Int_Unit= F이므로 한 모드의 탐색영역의 탐색이 종료된 이후에 탐색 모드 변경 여부가 결정되므로 처리율은 frame단위로 계산되며, CalcType=SearchOnly이므로 식 (2)에 의해 탐색빔으로만 처리율이 계산된다. 시작은 AAST로 시작하고, AAST 전체 탐색 영역에 대한 1회 탐색을 마친 후 두 모드의 처리율을 비교하면 AAST_{pratio}= 1/7, SSS_{pratio}= 0로 SSS_{pratio}가 작으므로, 다음 처리모드는 SSS로 선택된다. 이후 SSS 전체 탐색영역에 대한 1회 탐색을 마친 후, 처리율은 AAST_{pratio}=1/7, SSS_{pratio}=1/30으로 SSS_{pratio}가 여전히

히 작으므로 다음 처리모드는 SSS 모드로 선택된다. 이런 과정을 반복하여 SSS 모드를 5번 연속 탐색한 후, 처리율을 비교해 보면, AAST_{pratio}=1/7, SSS_{pratio}=5/30으로 AAST_{pratio}가 작으므로 다음 처리 모드는 AAST로 선택되며, 이런 과정이 반복되게 된다. 조건 1의 입력 조건 일부를 다음과 같이 변경해 보자.

(입력 조건 2)

Int_Unit= B

CalcType= All

이때 모드별 처리율은 다음과 같이 계산되며, 빔 스케줄링 결과는 표 4와 같다. 이 조건에서 스케줄러는 추적 관련 빔은 현재 탐색 모드와 상관없이 원하는 시점에 처리한다. AAST 모드에서는 한 번에 연속해서 처리하는 탐색빔 개수는 한 bar의 탐색빔 개수인 25개이며, 매 bar의 마지막 탐색빔 처리 후 다음 처리 모드를 결정하게 된다.

표 4. 탐색빔과 추적빔 스케줄링 결과 (A: AAST, S: SSS)

Table. 4. Scheduling result of search and track beam.

현재 탐색 모드		A	S(*)	S	A	S	A	S	A	S	S	A	S
스케줄링 결과 (빔처리 개수)	AAST 탐색빔	25	0	0	25	0	25	0	25	0	0	25	0
	AAST 추적빔	0	2	2	2	4	4	4	6	6	6	6	6
	SSS 탐색빔	0	100	100	0	100	0	100	0	100	100	0	100
처리율	AAST _{pratio}	0.071	0.077	0.083	0.160	0.171	0.254	0.266	0.354	0.371	0.389	0.477	0.494
	SSS _{pratio}	0.000	0.067	0.133	0.133	0.200	0.200	0.267	0.267	0.333	0.400	0.400	0.467
다음 탐색 모드		S	S	A	S	A	S	A	S	S	A	S	...

SSS 모드에서는 한 번에 연속해서 처리하는 탐색빔 개수는 한 bar의 탐색빔 개수인 100개이며, 100개의 탐색빔을 처리한 후 다음 처리 모드를 결정하게 된다. 표 4에서 (*) 상황은 AAST 첫 bar탐색 후 표적이 2개 발견되어 다음 SSS모드에서 AAST의 두 개의 추적빔을 처리해야 하는 상황을 가정하였으며, AAST 모드 추적빔 처리 개수는 임의로 시간에 발생할 수 있음을 가정하였다. 각 모드별 한 bar의 탐색빔을 처리 후 추적빔을 포함하여 처리율을 계산하고, 처리율이 낮은 모드를 다음 처리 모드로 선택하게 된다.

만약 같은 조건에서 Int_Unit= D로 설정되어 있으면 표 4에서처럼 AAST 탐색빔 25개, SSS 탐색빔 100개를 처리한 후 모드별 처리율을 계산하는 것이 아니라, 모드별 한 개의 빔 처리 후 매번 모드 변경 여부를 판단해야 하므로 모드별 처리율을 계산해야 한다.

그림 3과 그림 4는 입력조건(1)에서 시간에 따라 모드별 처리율과 각 모드에서 사용 중인 부하를 그래프 형식으로 보여준다. 그림 4를 통해 스케줄링이 진행됨에 따라 모드별 주어진 부하에 맞추어 빔 스케줄링이 이루어짐을 알 수 있다.

V. 결 론

빔 스케줄링 관점에서 종래의 단일모드의 빔 스케줄러는 우선순위가 높은 긴급빔을 요구되는 시간에 맞추어

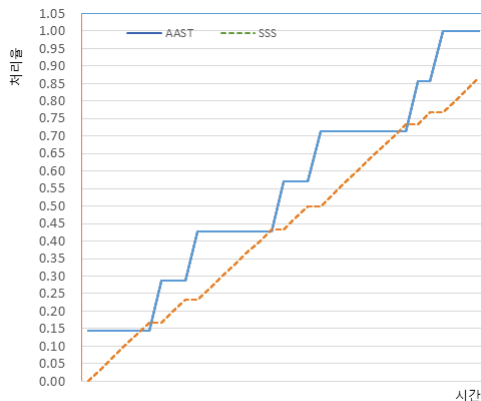


그림 3. 시간에 따른 모드별 처리율

Fig. 3. The change of processing ratio for each mode during scheduling time.

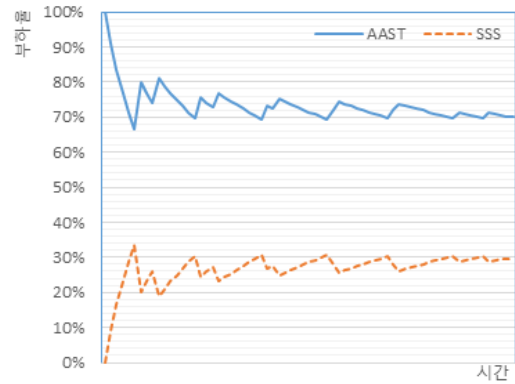


그림 4. 시간에 따른 모드별 사용 부하

Fig. 4. The change of allocated resource for each mode during scheduling time.

처리하고, 남은 시간에 단일모드의 탐색빔을 처리하게 되는데, 이런 방식을 동시운용모드에 적용할 경우 모드별 부하를 관리할 수 없는 한계가 있다. 동시운용모드에서 빔 스케줄링은 긴급빔을 처리하되, 모드별로 할당된 자원량을 지속적으로 만족할 수 있도록 탐색빔을 계획적으로 할당할 수 있어야 하며, 모드별 특징이 반영되도록 설계되어야 한다. 본 논문에서는 부하비율, 스캔 비율, 스캔 회수, 스캔 시간 옵션에 따라 모드별 할당된 자원량을 지속적으로 만족하는 동시에, 프레임, bar, 또는 빔 단위로 모드별 탐색 전환 옵션을 제공하고, 모드별 추적 특징을 반영할 수 있는 빔 스케줄러를 제안하였다. 또한 부하를 계산하기 위한 모드별 처리율 계산 및 탐색 모드 변경 여부 결정 로직 등을 구성하여 간단한 계산을 통해 부하를 제어할 수 있도록 설계하였다.

References

- [1] J. M. Butler, "Multi-function radar tracking and control," Ph.D. dissertation, University College London, London, 1998.
- [2] A. J. Orman, C. N. Potts, A. K. Shahani, and A. R. Moore, "Scheduling for a multifunction array radar system," *European Journal of Operational Research*, vol. 90, no. 1, pp. 13-25, Apr. 1996.
- [3] J. E. Roh, C. S. Ahn, and S. J. Kim, "Beam scheduling

- algorithm of multi-function AESA radar based on dispatching rules," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 23, no. 1 pp. 1-13, Jan. 2012.
- [4] W. Komorniczak, J. Pietrasinski, "Selected problems of MFR resources management," in *Proceedings of the 3rd International Conference on Information Fusion*, Jul. 2000, vol. 2, pp. 3-8.
- [5] S. L. C. Miranda, C. J. Baker, K. Wodbridge, and H. D. Griffiths, "Fuzzy logic approach for prioritisation of radar tasks and sectors of surveillance in multifunction radar," *IET Radar, Sonar & Navigation*, vol. 1, no. 2, pp. 131-141, Apr. 2007.
- [6] V. Krishnamurthy, R. J. Evans, "Hidden Markov model multiarm bandits: A methodology for beam scheduling in multitarget tracking," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 49, no. 12, pp. 2893-2908, Dec. 2001.
- [7] S. Ghosh, R. R. Rajkumar, J. Hansen, and J. Lehoczy,

- "Integrated QoS-aware resource management and scheduling with multi-resource constraints," *Real-Time System*, vol. 33, pp. 7-46, 2006.
- [8] S. Gopalakrishnan, C. S. Shih, P. Ganti, M. Caccamo, L. Sha, and C. G. Lee, "Radar dwell scheduling with temporal distance and energy constraints," in *RADAR 2004 - International Conference on Radar Systems*, Toulouse, 2004.
- [9] K. Harada, T. Ushio, and Y. Nakamoto, "Adaptive resource allocation control for fair QoS management," *IEEE Transactions on Computers*, vol. 56, no. 3, pp. 344-357, Mar. 2007.
- [10] J. E. Roh, D. H. Kim, and S. J. Kim, "Differential choice of radar beam scheduling algorithm according to radar load status," *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, vol. 15, no. 3, pp. 322-333, Jun. 2012.

노 지 은 [국방과학연구소/책임연구원]

<https://orcid.org/0000-0001-5156-9860>



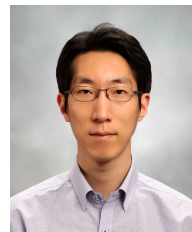
2000년 2월: 부산대학교 전자·컴퓨터 공학과 (공학사)
2002년 2월: 포항공과대학교 컴퓨터공학과 (공학석사)
2006년 2월: 포항공과대학교 컴퓨터공학과 (공학박사)
2006년 2월~현재: 국방과학연구소 책임

연구원

[주 관심분야] 항공기 레이더 시스템 등

윤 지 환 [국방과학연구소/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-1661-4395>



2008년 8월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학사)
2016년 2월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학박사)
2016년 3월~현재: 국방과학연구소 선임연구원

[주 관심분야] 항공기 레이더 시스템,

AESA 레이더, 리플렉터레이 등

원 진 주 [국방과학연구소/연구원]

<https://orcid.org/0000-0001-7733-2474>



2015년 2월: 영남대학교 전자공학과 (공학사)
2017년 2월: 영남대학교 전자공학과 (공학석사)
2017년 2월~현재: 국방과학연구소 연구원
[주 관심분야] Radar, AESA Radar, 자원관리, 동시운용 등